

微生物的肥料：溶磷菌的應用及要領

作者：楊秋忠（中興大學土壤環境科學系教授）
電話：04-22840373#4302

為何要用溶磷菌？

作物在土壤中吸收量最多的三大養分元素即為氮、磷、鉀，稱為肥料三要素，磷素在植物營養中扮演相當重要的角色，它與植物能量生化反應有關，許多的酵素代謝中需依賴磷酸化作用，加上磷素是生物遺傳物質的核酸之組成分，對細胞分裂及分生組織之發育有非常重要的關係，是植物生長及生殖不可缺少的大量元素之一。

土壤的主要營養元素中，磷素與氮素的行為差異甚大，氮素在土壤之移動或流失容易發生，而磷素在土壤中最不易移動，是因為土壤中磷素容易與鈣、鐵、鋁離子結合成無機態，呈不易溶解型，不易被植物吸收，又將植物的養分鈣及鐵固定，導致減少磷、鈣、鐵的吸收。有機態磷則存在於許多磷酸鍵的有機化合物上，如磷酯、植酸鈣鎂(phytins)及核酸等等，都來自有機體，因此，土壤含有有機質，就有豐富的有機態磷，在正常土壤中的有機態磷，經分解才可供應植物磷肥。

土壤中的無機態磷以結合型式存在愈多，對植物的有效性磷就愈少，因此磷肥在每期作物生產中需要施用，否則產量或品質就受到影響，但磷肥的回收利用率甚低，100元之磷肥被該期作物吸收最多常不超過20元，其餘的80元的磷肥，幾乎都被土壤所固定結合。上期作物未吸收的磷肥被固定結合，植物也無法大量再吸收這些被固定的磷，此即每一期作物均得施用磷肥的原因。

密集作物生產的地區，如每期施用的磷肥大半被土壤固定結合，長年累月下來，土壤中就累積了許多不易溶解的磷，很難被植物吸收，就如每期都有存款，但所存之款項又領不出來的問題。

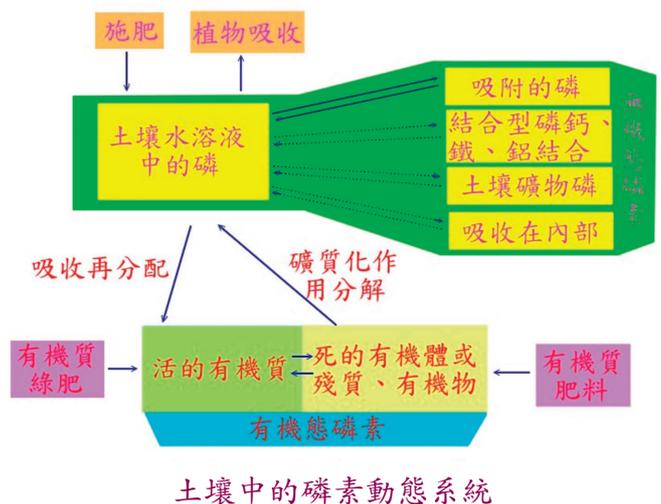
自然界非常奧妙，有一類的土壤微生物叫「溶磷菌」(phosphate solubilizing microorganisms)，可以將不易被作物利用的磷肥溶解出來，但大部分的土壤中這種菌數的存在

為數很少。近些年來的科學研究，已可分離出土壤的溶磷菌，經培養基中大量培養，再施到土壤中，將不溶性磷分解成植物可吸收的磷素，這是未來農業的一大福音。國立中興大學土壤環境科系在國內發展土生溶磷菌，已在田間試驗成功。

溶磷微生物之種類及作用

土壤微生物中，具有溶磷能力的微生物總稱為「溶磷微生物」或「溶磷菌」，可將土壤中的無效性磷轉變為有效性磷，是研究植物生長促進根圈微生物(Plant growth promoting rhizobacteria, PGPR)中很重要的主題之一。目前已知可溶解難溶性磷之微生物包括細菌、放線菌及真菌類等，一般以細菌類為最常見。

溶磷之機制中，一般溶磷作用產生的原因為微生物或植物產生有機酸，或間接生成無機酸，造成難溶性磷酸鹽中磷酸根的釋出，或分泌酵素加速有機磷的礦質化而釋出磷酸根，此外亦有其他溶磷機制之探討。一般溶磷微生物可利用分泌特殊物質達到磷酸鈣的溶解，如有機酸類的甲酸、醋酸、丙酸、丁酸、乳酸、檸檬酸、琥珀酸、蘋果酸、葡萄糖酸、草酸、縮蘋果酸及其他五碳或六碳之酸，這些酸降低了酸鹼度，亦導致不易溶解的磷改變其溶解度，而有一些分泌物，則在鉗合鈣及鐵，促使有效溶解及磷素的利用。



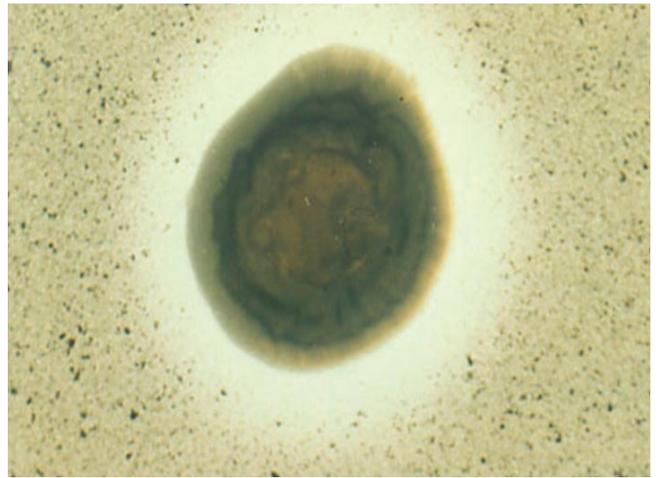
除了「非共生性」的溶磷菌能溶解不易溶解型的磷素外，「共生性」的菌根真菌 (mycorrhiza) 亦可協助作物吸收土壤中不易溶解的鈣結合磷、鐵結合磷及鋁結合磷，這種溶解的特性可能與根分泌物或菌分泌物有關，內生菌根菌能夠幫助植物吸收磷肥，除了增加植物根系與土壤接觸面積外，並且菌根化的根細胞粒腺體增加，細胞核變大，壽命較長，磷酸酵素、ATPase的活性都增加，因此對磷肥的吸收、分解或轉移能力增加。一般在低磷肥狀況下，則較有利於菌根菌之感染。

相同學名的菌種，其功能不一定相同，溶磷菌的接種效果好壞，是依賴菌種的選拔，要有優良的菌種，才可達到促進作物增產之功效，因土壤中的菌種良莠不齊，雖然同樣具有溶磷能力，但效果相互差異甚大。此外溶磷細菌配合菌根真菌的應用，亦被證明可達到「累加效應」。溶磷菌也常見配合磷礦石粉的施用，而達到增加磷肥吸收及增產的效果。有限的磷礦資源下，新興科技的發展溶磷菌在未來的農業中，必定有其需要性，使磷肥的效應提高是主要的目標，尤其是在固定磷素甚高的土壤更為重要，尤其多年生及根系小的作物的需求更有其必要性，使土壤磷肥有充分的供應達到作物的需求。

溶磷菌對作物生長之效益

溶磷菌可做為廣義肥料之應用，即為「微生物肥料」之一種品目，利用活體生物提高土壤中磷的有效性，以增進土壤營養狀況者。因此溶磷菌的接種可減少化學肥料的施用，以達到相同產量或有促進產量與品質之目標。由於溶磷微生物肥料的生產成本較工業生產肥料為低，除減少大量施用化學肥料，以減少土壤劣化之可能性外，更可降低生產成本。此外，溶磷微生物肥料的間接應用目的是利用溶磷菌對肥料功能外的其他能力，例如根圈保護之減少病害的功能(人海戰術，而非活性物質的微生物農藥)、促進植物根系生長及吸收水分與養分的能力、延長根系壽命、中和或分解毒害物質、增加植物抗病及抗旱的能力、提高作物抗逆境移植存活率及提早開花等多功能之特性。其中促進根系生長可增加各種養分吸收，其效果最大。

全球農田由於施用多年的磷肥，普遍已累積相當大量的磷素，其中不易溶解的無機結合磷是



溶磷菌可將不溶性之磷肥溶解

土壤的主要累積磷素，但這種結合型磷的有效性低，不能有效充分供應作物利用。本研究室多年來研究及開發溶磷菌之生物肥料接種劑，期能提高土壤中磷素的多元化應用，並達到減少化學磷肥之施用，以降低土壤劣化及環境污染，並提高農產品品質及農民所得之目的。在農委會之科技發展計畫中已證明溶磷菌之接種可節省1/3至1/2之肥料，在台灣每年施用之磷肥135千公噸，約3.7億元，因此以保護土壤之觀點下，溶磷菌的接種可少用約70千公噸磷肥及1.8億元，開發溶磷菌有實質及對環保之價值。土壤微生物中的溶磷菌，可以增進磷礦石粉及土壤中難溶的磷酸鈣、磷酸鐵及鋁磷化合物的溶解。

溶磷菌肥料的施用要領

一、施用的部位及方法：溶磷菌施用要接觸到根部為優

溶磷菌的主要發揮功能的位置是在作物的根圈或根內，因此，施用溶磷菌第一要件是需要接觸到根系，影響根系的範圍或數量一般愈多愈好，要影響作物根系的20%以上，才能易見到有顯著效果。若接種菌量太少，則需要有較長的時間表現。

溶磷菌在施用時，要施用到根圈周圍，因此，溶磷菌用液體的形態灌注根系為佳；若用粉劑形態，則在施用後要噴水或灌溉，使微生物菌劑移動到根圈上，否則要等待雨水來移動散佈到根圈上，才會有明顯效果。溶磷菌亦可與稀釋之有機質液肥或化學肥料之施入根圈。

二、施用時期：作物幼期接種為優

作物隨時都需要營養及保護，其實溶磷菌在

任何時間都可施用，以下僅以經濟用量說明之。作物從種子發芽到收穫期間，接種溶磷菌一般愈早期愈好，尤其用種子繁殖的作物，可在播種時或穴盤苗期在土壤或介質中接種混合，待種子發芽長出幼根時，即可接觸到微生物，效果即可在幼苗發揮，尤其是作物的內生菌種最為有效。若在幼苗時灑施菌液接種作物根系，則可節省菌種施用量。若在本田時期的接種則需施用較多量的菌劑，成本增加。若為多年生果樹的接種，則在開花前1~2個月開始施用溶磷菌，在幼果期及中果期再施用各2~4次。

三、施用頻度及施用量：以經濟用量為優

溶磷菌施入土壤中之作物根圈後，很難長期維持高的菌數，因為溶磷菌群在土壤有相生相剋之現象或被捕食的問題，因此溶磷菌也要有「追肥」的觀念，表示施用溶磷菌後，經一段時間(如1~2個月)需要再追施一次，使再度維持高菌數之溶磷菌量，以達到顯著功能。多施溶磷菌並無過量之問題。以經濟用量考慮下之施用頻度及時期如下表一所示。

溶磷菌的應用方法

溶磷菌的應用方法主要是需將種子或幼苗根部能與稀釋菌液充分接觸，達到接種微生物的目標，甚為簡便。施用以上以穴盤苗之作物灌施溶磷菌為最方便及節省用量。一般田間之作物以稀釋菌液灌入土壤根部之方法，但至少灌施到影響作物根系之20%以上，才會有顯著之效果。溶磷菌的應用方法一般稀釋倍數需依說明書為依據，

表一、不同作物種類施用溶磷菌之頻度及時期(經濟用量)

作物種類	施用頻度	施用時期
1個月收穫之作物	1次	發芽或幼苗時為佳
2~3個月收穫之作物	2~3次	發芽或幼苗時一次 20天至一個月後至少一次
4~6個月收穫之作物	3~4次	發芽或幼苗時一次 20天至一個月後一次 二個月後一次或三個月後一次
6~12個月收穫之作物	4~6次	發芽或幼苗時一次 一個月後一次 二個月後一次或三個月後一次或四個月後一次
1年生以上或多年生作物	4~8次	開花前1~2個月一次 幼果期一至二次 中果期一至二次

並與不同栽培作物期而異，舉列說明如下：

(一) 裸根苗接種的方法

- 1.噴苗法：**以菌劑5~10倍或固劑10~20倍(一般稀釋倍數需依說明書之依據為主)之稀釋菌液放入噴筒中，直接噴濕到裸根苗的根部即可。
- 2.浸苗法：**如上述之稀釋菌液浸苗，浸入液體中沾濕後立即取出，但要小心浸苗法可能有病原之感染問題，較不建議此法。

(二) 作物種植後之接種方法或直接灌入土壤之方法

將100~500倍之稀釋菌液(一般稀釋倍數需依說明書之依據為主)灌入種植之根部土中或穴盤苗即可，或以10倍之稀釋液在雨後噴入土中也可。一般田間之作物以灌入土壤根部之方法為最方便。

(三) 種子接種之方法

- 1.播種前浸入或噴濕法：**將種子與原液或5~10倍稀釋液浸入或噴濕，使種子與液態溶磷菌接觸後再播種。但要注意怕浸水的種子(如毛豆、大豆)，不得用菌液浸泡種子。浸種法對硬殼之作物種子，可促進整齊之發芽率。
- 2.播種覆土前噴濕法：**將原液或5~10倍稀釋液噴在苗床上未覆土的種子上，使種子噴濕菌種後，再覆土。

以上不同的應用方法，需依方便性、經濟性及效率性考量，以達到最佳效果。例如草莓則以噴苗法或穴盤苗期施用為較適宜，栽種在

田間後20~30天後再追施溶磷菌(100~500倍)1~2次即可。若為果樹則依表一中所述，開花前1~2個月灌施(約100~500倍稀釋菌液)於根圈(樹冠半徑之中間)，再於幼果期及中果期追施溶磷菌稀釋液(100~500倍)各施1~2次。